

含油污泥处理处置相关规范性文件分析

陈忠^{1,*}, 徐烽淋², 杨德敏³, 王朝强⁴, 谢加才⁵, 梅绪东², 谭洵¹, 仝坤^{5,*}

(1. 中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714; 2. 重庆市涪陵页岩气环保研发与技术服务中心, 重庆 408000; 3. 重庆地质矿产研究院页岩气勘探开发国家地方联合工程研究中心, 重庆 401120; 4. 重庆交通大学材料科学与工程学院, 重庆 400074; 5. 中国石油集团安全环保技术研究院有限公司, 北京 102206)

摘要: 含油污泥是油气行业的重要废弃物, 由油、水、固三相混杂而成, 因含有石油烃、重金属、多环芳烃等易燃性和毒性物质而被列为危险废物, 且其产量随着非常规油气资源开采占比的增加而增加。近年来, 涉及含油污泥相关的法律法规、政策指南、标准等规范性文件不断更新和发布, 对处理处置技术的研发、筛选及市场推广等方面具有重要指导意义。因此, 在收集整理了 58 份规范性文件的基础上, 对比了历版《国家危险废物名录》中对含油污泥种类的划分及限定, 总结了含油污泥最新分类及属性鉴别方法, 归纳了国家及地方关于油气勘探开发环境保护的管理条例, 分析了污染防治技术政策和危险废物环境管理指南, 梳理了国家、行业和地方标准, 并绘制了含油污泥处理处置技术流程图, 同时给出了进一步完善规范性文件的建议。研究结果可为含油污泥的环境管理、工艺选择及处理处置技术的研发等提供参考和启发。

关键词: 含油污泥; 危险废物; 非常规油气资源; 规范性文件; 处理处置技术

中图分类号: X32

文献标识码: A

Analysis of relevant normative documents on oil sludge treatment and disposal

CHEN Zhong^{1,*}, XU Fenglin², YANG Demin³, WANG Chaoqiang⁴,
XIE Jiakai⁵, MEI Xudong², TAN Xun¹, TONG Kun^{5,*}

(1. *Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China*; 2. *Chongqing Fuling Shale Gas Environmental Protection Research and Development and Technical Service Center, Chongqing 408000, China*; 3. *National and Local Joint Engineering Research Center of Shale Gas Exploration and Development, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 401120, China*; 4. *School of Materials Science and Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China*; 5. *CNPC Research Institute of Safety & Environmental Technology, Beijing 102206, China*)

Abstract: Oily sludge, a mixture of oil, water and solid, is an important waste generated from the oil and gas industry. It is usually classified as hazardous waste because it contains inflammable and toxic substances, such as petroleum hydrocarbons, heavy metals, and polycyclic aromatic hydrocarbons. It is expected that the amount of produced oily sludge will continue to increase due to the increasing exploitation of unconventional oil and gas resources. In the past few years, normative documents related to oily sludge have been increasingly updated and published, including the laws and regulations, policy guidelines, and standards. These documents are important for all aspects of oily sludge treatment and disposal technology, such as research and development, screening, and commercialization. Therefore, a total of 58 normative documents have been searched and collected. Based on these, the classification and definition of oily sludge types in the past editions of the National Hazardous Waste List are compared. Furthermore, the latest classification and characteristics identification process are summarized,

收稿日期: 2024-04-11

修回日期: 2024-04-28

DOI: 10.20078/j.eep.20240503

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展重点专项资助项目 (CSTB2023TIAD-KPX0074); 国家自然科学基金资助项目 (22108268); 重庆市教委
雄鹰计划资助项目 (CY231105)

第一/通讯作者: 陈忠 (1986—), 男, 四川眉山人, 副研究员, 主要研究方向为有机固废及生物质水热处理与资源转化。E-mail: chenzhong@cigit.ac.cn

通讯作者: 仝坤 (1974—), 男, 江苏徐州人, 教授级高级工程师, 主要研究方向为含油固废处理与资源化。E-mail: tongkun@cnpc.com.cn

and the national and local management regulations on environmental protection of oil and gas exploration and development are listed. The pollution prevention technology policy and the environmental management guide for hazardous waste are analyzed, with all national, industrial, and local standards discussed. Finally, a schematic diagram of the technical process for oily sludge treatment and disposal is drawn, and suggestions are given for further improvement of the normative documents. The results can provide reference and inspiration for environmental management, process selection, and research and development of treatment and disposal technology.

Keywords: Oil sludge; Hazardous waste; Unconventional oil and gas; Normative documents; Treatment and disposal technology

0 引言

含油污泥是一类油、水、固三相混杂而成的固态或半固态废弃物,主要来源于石油和天然气的开采、储运、炼制等环节。根据商业统计,我国含油污泥年产量已超过 600 万 t,历史堆存量达 1.43 亿 t^[1]。随着常规油气资源的日益枯竭,以重质油、页岩气为代表的非常规油气将是全球未来除煤炭以外的主要化石能源来源^[2-3]。鉴于非常规油气的开采及加工难度,预计含油污泥的产量还将持续增加。含油污泥具有资源和污染源的双重属性^[4]:一方面,当含油率超过 5%时具有一定的回收利用价值;另一方面,高含油率及多环芳烃、重金属、无机盐等污染物使其具有毒性和易燃性,从而被列入《国家危险废物名录》。近年来,已有二十余种新旧技术被用于含油污泥的减量化、资源化和无害化处理处置^[5],而评价各类技术方法的依据主要包括两方面^[6]:一是环保达标,即处理处置过程及二次产物需满足相关规范性文件的要求;二是经济可行,即处理处置成本需具有一定的经济性和市场竞争力。其中,规范性文件具有引导市场及技术研发、管理处理处置过程等作用,而技术的发展又可以推动规范性文件的更新,二者相辅相成。2020 年以来,与含油污泥相关的法律法规、政策指南、标准等规范性文件不断更新和发布,这对于含油污泥处理处置技术的研发、筛选及市场推广等方面具有重要指导意义。为此,本文收集整理了 58 份相关规范性文件,包括国务院、生态环境部、住建部、工信部、市场监督管理总局等发布的国家级文件 25 份,油气、能源、环境领域的行业文件 12 份,省级文件 19 份、市级文件 2 份。基于上述文件,归纳了含油污泥种类及属性鉴别方法,对比了污染物限值指标,梳理了处理处置技术流程,总结了环境管理主体思路及存在的

不足,并提出了进一步完善的建议。

1 法律法规

1.1 含油污泥的属性鉴别

1.1.1 历版《国家危险废物名录》中的含油污泥

2020 年 4 月 29 日,第十三届全国人大常委会第十七次会议审议通过了最新修订的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》^[7],其中对固体废物管理提出了规范化、精细化、信息化的要求。根据生态环境部(原环境保护部)发布的历版《国家危险废物名录》,绝大部分含油污泥属于危险废物,少部分属于一般固废。

第一版《国家危险废物名录(1998 年版)》^[8]首次将含油污泥的废物类别设置为“废矿物油(HW08)”,来源分为石油开采和炼制产生的油泥和油脚、矿物油仓储沉积物、含油废水处理产生的废油及污泥、油加工和油再生产生的油渣及过滤介质 4 种,但未编制废物代码和危险特性。

第二版《国家危险废物名录(2008 年版)》^[9]将“废物来源”改为了“行业来源”,新增了危险特性(毒性和易燃性),并细化了含油污泥种类、新增了对应的废物代码,分属 2 种废物类别下的 5 个行业来源,共计 17 种,分别是①“废矿物油(HW08)”下的天然原油和天然气开采行业(071-001-08、071-002-08)、精炼石油产品制造行业(251-001-08~251-012-08)和非特定行业(900-210-08);②“其他废物(HW49)”下的环境治理行业(802-006-49)和非特定行业(900-042-49)。

第三版《国家危险废物名录(2016 年版)》^[10]进一步调整了含油污泥的行业来源及种类,分别是①将行业来源中的“天然原油和天然气开采”拆分为“石油开采”和“天然气开采”,其中“天然气开采”新设置了废物代码“072-001-08”;②删除了精炼石油产品制造行业下 3 个内容重复的废物

代码“251-007-08~251-009-08”；③整体删除了环境治理行业及其对应的废物代码“802-006-49”；④在废物代码“900-041-49”中增加了“沾染危险废物的过滤吸附介质”。调整后的含油污泥分属2种废物类别下的5个行业来源,共计15种。此外,该版还有3个重要变化:一是071-002-08和072-001-08两个代码对应的内容明确为“以矿物油为连续相配制钻井泥浆用于石油、天然气开采所产生的废弃钻井泥浆”,即排除了废弃水基泥浆及钻屑;二是251-003-08和900-210-08两个代码下的内容排除了“废水生化处理污泥”;三是新增了《危险废物豁免管理清单》,其中涉及废物代码“900-042-49”的内容规定“突发环境事件及其处理过程中产生的废物,经接受地县级以上环境保护主管部门同意,按事发地县级以上地方环境保护主管部门提出的应急处置方案进行转移、处置或利用,可不按危险废物进行管理”。经过上述调整,含油污泥的行业来源、废物代码和豁免清单的基本框架被确定。

第四版《国家危险废物名录(2021年版)》^[11]将071-001-08的内容由“石油开采和炼制产生的油泥和油脚”改为了“石油开采和联合站贮存产生的油泥和油脚”,避免了与后文251-0XX-08中涉及炼制油泥相关内容的重复。此外,该版对应的《危险废物豁免管理清单》改动较大,涉及含油污泥的内容主要包括:①增列了废物代码“900-042-49”的豁免内容,规定“船舶含油污水及残油经船上或港口配套设施预处理后产生的需通过船舶转移的废矿物油与含矿物油废物,其运输按照水运污染危害性货物实施管理,不按危险废物进行运输”;②废物代码“900-042-49”的豁免内容删除了“经接受地县级以上环境保护主管部门同意”;③对于其他危险废物,在环境风险可控的前提下,根据省级生态环境部门确定的方案,可实行危险废物“点对点”定向利用。其中,“‘点对点’定向利用”的规定改变了以往危险废物必须集中处置的传统,鼓励多途径消纳危险废物,为危险废物的非集中处理处置及资源化利用打开了新窗口。

2023年12月28日,最新一版的《国家危险废物名录(修订稿)》^[12]开始公开征集意见,其中涉及含油污泥的内容无改动。因此,第四版《国家危险废物名录(2021年版)》是目前鉴别含油污泥危险特性的最新依据,具体废物类别如图1所示。

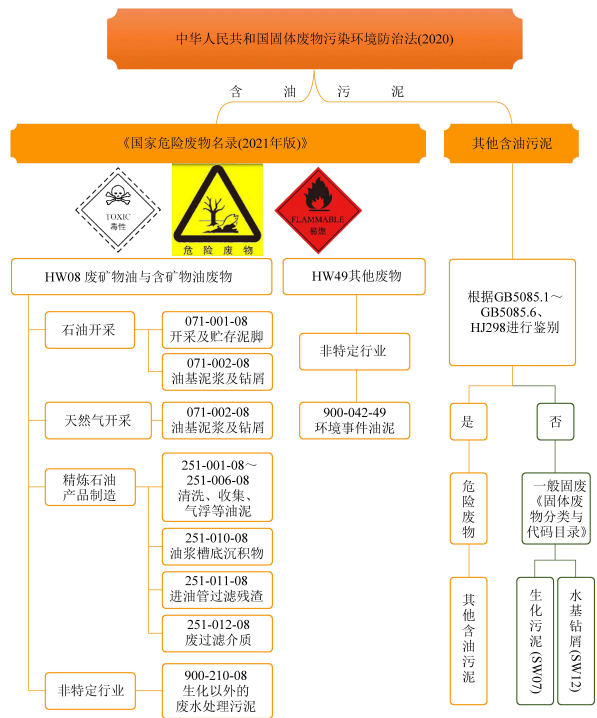


图1 含油污泥属性鉴别流程

Fig. 1 Identification process for characteristics of oily sludge

1.1.2 其他含油污泥

对于未列入《国家危险废物名录》的含油污泥,若不排除是否具有腐蚀性、毒性、易燃性或反应性时,需依据GB 5085.1、GB 5085.2、GB 5085.3、GB 5085.4、GB 5085.5、GB 5085.6和HJ 298依次进行鉴别^[13]。凡鉴定结果超过上述标准限制中的一种及以上时,含油污泥即被认定为危险废物,反之则为一般固废。最新一版的《国家危险废物名录(修订稿)》进一步完善了鉴别结果的处理流程,即正文第六条:经鉴别,具有危险特性的属于危险废物,应当根据其主要有毒成分和危险特性对照本名录中已有废物代码进行归类,无法按已有废物代码归类的,应确定其所属废物类别,按代码“900-000-XX”(XX为危险废物类别代码)进行归类管理。

含油率是含油污泥最易超标的污染控制指标,其限值为不超过3%^[14]。例如,贾建丽等^[15]取样分析了我国东北、西北、华北、华南、华东5个地区、6个油田的石油污染土壤,发现含油率介于0.02%至23.00%之间。对于这些含油率超过3.00%的重度石油污染土壤,可归类为071-001-08、900-042-49或900-000-HW08进行管理;而其他轻度石油污染土壤,在排除其他超标有毒物质的前提下,可按照一般固废进行处理,由此可简化处理流程,降低处理成本。此外,车连发等^[16]和

方飞^[17]分别对炼化厂的废水生化污泥进行了危险特性鉴别,吴娜等^[18]也对页岩气水基钻屑进行了危险特性鉴别,结果均显示为一般固废,这与自第三版《国家危险废物名录(2016年版)》开始排除生化污泥和水基钻屑的修订一致。2024年1月22日,生态环境部印发了《固体废物分类与代码目录》^[19],其中将生化污泥和水基钻屑分别归类为“SW07 污泥”和“SW12 钻井岩屑”。

1.2 含油污泥处理处置的相关管理条例

本文一共检索收集到9项与含油污泥处理处

置相关的管理条例,其中《中华人民共和国海洋倾废管理条例》^[20]明确指出:海洋石油勘探开发过程中产生的废弃物,按照《中华人民共和国海洋石油勘探开发环境保护管理条例》^[21]的规定处理;另一项《山东省陆上石油勘探开发环境保护条例》^[22]已于2018年1月23日废止,目前尚未出台新的替代条例;此外还有1项《关于进一步加强石油天然气行业环境影响评价管理的通知》^[23]。7项管理条例及1项通知见表1。

表1 油气勘探开发环境保护管理条例

Table 1 Regulations for environmental protection of oil and gas exploration and development

文件名称	含油污泥相关内容	时间
《中华人民共和国海洋石油勘探开发环境保护管理条例》 ^[21]	应设置残油、废油回收设施;残油、废油、油基泥浆、含油垃圾和其他有毒残液残渣,必须回收,不得排放或弃置入海	1983.12.29 发布实施
《关于进一步加强石油天然气行业环境影响评价管理的通知》 ^[23]	重点关注固体废物产生类型、主要污染因子及潜在环境影响,分别提出减量化的源头控制措施、资源化的利用路径、无害化的处理要求;鼓励企业自建集中式处理和综合利用设施,提高综合利用率	2019.12.13 印发
《黑龙江省石油天然气勘探开发环境保护条例》 ^[24]	废弃钻井液、岩屑、污油、油沙、污泥等应当回收并处理;鼓励新技术研究;危险废物按照国家和省有关要求进行处理	1996.11.3 通过, 2018.4.26 第三次修正
《陕西省煤炭石油天然气开发生态环境保护条例》 ^[25]	废弃泥浆、岩屑等工业固体废物应当集中收集、处置,鼓励协同处置;鼓励综合利用的科学研究、技术开发和推广应用;危险废物的收集、贮存、运输、利用和处置应当严格执行国家和本省有关规定	2000.12.2 通过, 2019.9.27 第二次修订
《甘肃省石油勘探开发生态环境保护条例》 ^[26]	钻井应当采用无毒或者低毒泥浆;泥浆收集设施应当防渗漏;危险废物应当依法依规进行收集、贮存、运输和处置	2006.1.8 通过, 2019.11.29 第二次修订
《辽宁省石油勘探开发环境保护条例》 ^[27]	应当采用无毒泥浆作业,涉及危险化学品的需申报;监测废弃泥浆处理处置;落地油泥及时清理;含油岩屑、污油、油泥或者清罐浮渣、底泥等危险废物按照管理规定进行转移、贮存和处理	2011.7.29 通过, 2019.9.27 第二次修正
《新疆维吾尔自治区煤炭石油天然气开发生态环境保护条例》 ^[28]	应当使用无毒、低毒钻井液;对钻井作业产生的有毒钻井液、污油、废矿物油应当回收处理,并防治渗漏、泄露、溢流和散落;危险废物的收集、贮存、运输、处置必须符合国家和自治区有关规定	2014.7.25 通过, 2018.9.21 第一次修正
《鄂尔多斯市天然气开发生态环境保护条例》 ^[29]	建立健全固废产生、收集、贮存、运输、利用、处置全过程的污染防治责任制度;泥浆、岩屑等工业固体废物应当分层收集、处理	2022.10.29 通过

1.2.1 国家管理条例

1983年12月29日,国务院发布了《中华人民共和国海洋石油勘探开发环境保护管理条例》。这是目前唯一针对海洋石油勘探开发的国家级管理条例,自发布实施以来尚未进行修正或修订。该条例的主管部门为中华人民共和国国家海洋局及其派出机构,其中规定含油污泥必须回收,不得排放或弃置入海。

2019年12月13日,生态环境部印发了《关于进一步加强石油天然气行业环境影响评价管理的通知》,其规定:应当遵循减量化、资源化、无害化原则,鼓励企业自建含油污泥集中式处理和综合利用设施,相关部门及油气企业应当加强固体废

物处置的研究,重点关注固体废物产生的类型、主要污染因子及潜在环境影响,分别提出减量化的源头控制措施、资源化的利用路径、无害化的处理要求,促进固体废物合理利用和妥善处置。

1.2.2 地方管理条例

对于内陆油田,目前尚无国家级管理条例,但有5项省级、1项市级的管理条例。其中,省级条例都已经历过2~3次的修正或修订,而《鄂尔多斯市天然气开发生态环境保护条例》于2023年7月1日才首次发布实施。

地方管理条例是根据《中华人民共和国环境保护法》和有关法律法规,并结合地方实际而制定,是对石油和天然气勘探开发作业过程中生态

环境保护实施监督管理的依据,包括适用范围、实施原则、环境监督、污染防治、生态保护、法律责任和附则等内容。对于危险废物,除了鄂尔多斯市的条例未专门提及外,其他条例均明确要求按照国家和地方相关规定进行收集、贮存、运输和处置,违规则进行相应处罚及罚款。除此以外,地方条例也各具特色:①甘肃、辽宁、新疆、黑龙江和鄂尔多斯的条例均提出首选环保型钻井泥浆,从源头减少含油污泥的产量及危害性;②黑龙江条例要求油气勘探开发单位加强新技术研究,优先采用资源利用率高、污染物产生量少的清洁生产技术、工艺和设备,并根据需要对油气勘探开发项目实施清洁生产审核;③陕西条例鼓励石油、天然气开发单位对同类企业产生的工业固体废物协同处置,鼓励对废弃泥浆、岩屑等工业固体废物综合利用的科学研究、技术开发和推广应用。其中,陕西省的鼓励条例与第四版《国家危险废物名录(2021年版)》中提及的“危险废物‘点对点’定向利用”一致。

2 政策指南

对于海上油气田,目前仅有前述的《中华人民共和国海洋石油勘探开发环境保护管理条例》,尚无相关政策指南。除少部分弃海和回注外,大部分的海上油气田含油污泥需转运回内陆进行处理处置,因此可借鉴陆上油气田的相关政策指南执行。

2.1 陆上油气田含油污泥的污染防治政策

2012年3月7日,生态环境部正式印发了《石油天然气开采业污染防治技术政策》(公告2012年第18号)^[30],包括6个部分,其中涉及含油污泥的内容分别为①“总则”要求工业固体废物资源化及无害化处理处置率达到100%;②“清洁生产”鼓励采用环境友好的钻井液体系,同时要求防止产生落地原油,若产生应及时回收,回收率应达到100%;③“生态保护”建议布置丛式井组,采用多分支井、水平井、小孔钻井、空气钻井等钻井技术,以减少废物产生和占地;④“污染治理”鼓励油污循环利用,固废收集、贮存及处理处置设施应按标准要求采取防渗措施,含油污泥资源化利用率应达到90%以上,残余固废应按照《国家危险废物名录》和危险废物鉴别标准进行识别,并根据识别结果进行资源化利用或无害化处置,石油污染土壤宜采用生物或物化方法进行修复;⑤“鼓励研发的新技术”包括钻井废物的随钻处理技术,废弃

钻井液及含油污泥的资源化利用和无害化处置技术;⑥“运行管理与风险防范”要求制定突发环境事件应急预案并定期演练。综上所述,该政策鼓励清洁生产和新技术研发,严格过程控制,通过防治结合实现对含油污泥的源头减量及资源化、无害化处理处置。

2.2 陆上油气田含油污泥环境管理指南

2021年12月21日,生态环境部印发了《危险废物环境管理指南 陆上石油天然气开采》(公告2021年第74号)^[31],包括适用范围、术语和定义、危险废物生产环节、危险废物环境管理要求4个部分。其中,“术语和定义”部分包含了除水基钻屑和炼化行业污泥以外的所有属于危险废物的含油污泥。“危险废物生产环节”涵盖了石油、常规天然气、页岩气、致密气、煤层气、页岩油6种油气资源的开采作业,废物种类与《国家危险废物名录(2021年版)》一致,包括了图1中除“精炼石油产品制造”以外的所有含油污泥。主要利用处置方式包括自行利用处置和委托持有危险废物经营许可证的单位利用处置两种。具体处理处置的技术方式在“危险废物环境管理要求”部分有所提及,主要包括:①自行利用处置的过程污染控制应执行GB 18484、GB 18598、HJ 662的有关要求,不得擅自倾倒、堆放;②鼓励石油天然气开采产业基地、大型企业集团根据需要自行配套建设高标准危险废物利用处置设施;③废弃油基泥浆及钻屑鼓励优先回收利用油基泥浆,或采用化学萃取、热脱附和化学清洗等方式回收矿物油;④含油污泥可采用热解、化学清洗等方式回收矿物油;⑤资源化利用后的剩余残渣,在满足国家、地方制定的标准条件下,可用于油气田作业区内部铺设通井路、铺垫井场基础材料等;⑥仍属于危险废物的剩余残渣,可实行危险废物“点对点”定向利用,即《国家危险废物名录(2021年版)》中的第32条豁免内容。

2.3 不属于危险废物的含油污泥处理处置政策指南

对于不属于危险废物的含油污泥,如图1所示的水基钻屑、含油废水生化污泥等,可参考《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策(试行)》(建城[2009]23号)^[32]和《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)》(建科[2011]34号)^[33]进行处理处置。相比于市政污泥,它们的化学药剂含量高、生化性差,且水基钻屑的有机质含量低、无机灰分含量高,而含油废水生化污泥中含有石油类有机物,脱水性差。因此,

一方面,在处理处置过程中,需对相应技术进行优化改进,以应对上述污泥的特殊性质;另一方面,在资源化利用过程中,需控制相关污染指标,以满足资源化产品的相关要求。

3 标准

本文一共收集整理 36 项相关标准,包括 10 项国家标准、12 项行业标准和 14 项地方标准。整体而言,含油率是含油污泥处理处置的首要指标,介于 0.004% 至 8% 之间,其中 2% 是最常采用的限值。此外,标准还规定了 pH、含水率、重金属、多环芳烃、苯并芘、盐含量等限值指标,并提及或推荐了离心分离、化学清洗、溶剂萃取、超声、热解、生物降解、焚烧、建材资源化和固化填埋等处理处置技术。

3.1 国家标准

如表 2 所列,国家标准中有 3 项为推荐性标准(GB/T),其余 7 项为强制性标准(GB)。这 3 项推荐性标准均针对页岩气勘探开发,发布于

2020 年以后,含油率借鉴行业标准 SY/T 7301 的 2% 执行。GB 4914 为强制性标准,适用于海洋石油勘探开发,于 2008 年发布,规定了除渤海禁止排放以外,其他一级、二级、三级海域的排放限值分别为 1%、3% 和 8%。其中,8% 是目前所有标准中的最大含油率限值。GB 5085.6、GB 18598、GB 18484、GB 18597 是针对危险废物的强制性标准,其中 GB 5085.6 是鉴别含油污泥及其处理后残渣是否属于危险废物的主要标准,规定了 6 大类、共计 274 种的危险物质,其中含油率属于附录 B 中的有毒物质,限值为 3%。该限值也是其他标准中规定含油污泥及其残渣含油率需低于 3% 的最主要依据。剩余 2 项标准是针对土壤污染控制的强制性标准,主要涉及石油污染土壤。其中,GB 15618 规定了重金属、持久性有机污染物、苯并芘、pH,未规定含油率;而 GB 4284 规定了含油率,但该标准仅适用于城镇污水处理厂污泥,不可应用于含油污泥。

表 2 含油污泥处理处置相关国家标准

Table 2 National standards for oily sludge treatment and disposal

标准号	标准名称	含油率限值	推荐技术及其他内容
GB 4914—2008	《海洋石油勘探开发污染物排放限值》 ^[34]	渤海不得排放,其他一级海域≤1%,二级海域≤3%,三级海域≤8%	仅限于回收困难并经需海区主管部门批准,且还规定了 Hg≤1 mg/kg, Cd≤3 mg/kg
GB/T 39139.1—2020	《页岩气环境保护第 1 部分:钻井作业污染防治与处置方法》 ^[35]	<2%	水基钻屑宜采用生物技术、固化填埋和建材资源化;油基钻屑宜采用热脱附、萃取和井场内铺路基材资源化
GB/T 39139.2—2023	《页岩气环境保护第 2 部分生产作业环境保护推荐作法》 ^[36]	<2%	包括钻井作业污染防治与处置方法、生产作业环境保护推荐做法和井场土地复垦推荐做法三部分
GB/T 41518—2022	《页岩气勘探开发油基岩屑处理方法及控制指标》 ^[37]	<2%	热解吸、溶剂萃取和建材资源化
GB 5085.6—2007	《危险废物鉴别标准毒性物质含量鉴别》 ^[14]	<3% (附录 B 有毒物质)	包括附录 A 剧毒物质 (39 种) <0.1%, 附录 B 有毒物质 (143 种) <3%, 附录 C 致癌性物质 (63 种) <0.1%, 附录 D 致突变性物质 (7 种) <0.1%, 附录 E 生殖毒性物质 (11 种) <0.5%, 附录 F 持久性有机污染物 (11 种) <0.005%
GB 18598—2019	《危险废物填埋污染控制标准》 ^[38]	<5% (有机质,非矿物油)	直接满足或预处理后满足相关控制限值可进行填埋
GB 18484—2020	《危险废物焚烧污染控制标准》 ^[39]	—	焚烧
GB 18597—2023	《危险废物贮存污染控制标准》 ^[40]	—	贮存
GB 15618—2018	《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》 ^[41]	—	包括重金属的基本项目和持久性有机污染的其他项目
GB 4284—2018	《农用污泥污染物控制标准》 ^[42]	A 级<0.05%, B 级<0.3%	仅适用于城镇污水处理厂污泥

3.2 行业标准

12 项行业标准见表 3。在 9 项石油和天然气行业的推荐性标准(SY/T)中,SY/T 6851 是最早的行业标准,适用于陆上油田和滩海陆采油田;SY/T 7682 是最新的行业标准,适用于陆上油气田,同时海上油气田及炼油化工可参照执行;SY/T 7422 是专门针对油基钻屑处理工艺及系统装备的行业标准,适用于各类油气田;其余 6 项均适用于内陆油气田。其中,SY/T 7466 是专门针对水基钻屑处理处置的标准,而 SY/T 7467 则是从钻井泥浆配置的源头降低含油污泥环境毒性及危害。与之类似的还有能源行业的推荐性标准 NB/

T 10843,规定了油基钻井液的回收、处理、再利用工艺技术及性能指标要求,这与《危险废物环境管理指南 陆上石油天然气开采》中鼓励循环利用油基钻井液的内容一致。剩余的 2 项环境行业标准均为强制性标准,其中 HJ 607 规定了含油率>5%的含油污泥、油泥沙应进行再生利用,分离后的油泥沙含油率需<2%、含油岩屑的含油率需<5%,残渣通过焚烧或填埋进行处置;HJ 622 规定了利用水泥窑协同处置固体废物(包括危险废物)的要求,对于含油污泥而言,主要污染控制指标为重金属、氟、氯、硫的含量。

表 3 含油污泥处理处置相关行业标准

Table 3 Industrial standards for oily sludge treatment and disposal

标准号	标准名称	含油率限值	推荐技术及其他内容
SY/T 6851—2012	《油田含油污泥处理设计规范》 ^[43]	—	包括浓缩脱水、清洗、生物修复、焚烧和回灌
SY/T 7298—2016	《陆上石油天然气开采钻井废弃物处置污染控制技术要求》 ^[44]	<3%(填埋) <10 mg/L(固化/稳定化后的浸出液)	包括填埋、固化/稳定化、土地处置和热处理
SY/T 7300—2016	《陆上石油天然气开采含油污泥处理处置及污染控制技术规范》 ^[45]	—	包括化学热洗、燃料化、热解、蒸汽喷射、常温溶剂萃取、微生物修复等技术
SY/T 7301—2016	《陆上石油天然气开采含油污泥资源化综合利用及污染控制技术要求》 ^[46]	<2%	油基钻井液回收循环利用,残渣井场内铺路基材资源化
SY/T 7422—2018	《石油天然气钻采设备 油基钻井液钻屑处理系统》 ^[47]	≤2%	包括化学清洗和热分离的两种推荐处理工艺,处理量≥5 m ³ /h
SY/T 7481—2020	《非常规油气开采含油污泥处理处置技术规范》 ^[48]	≤2%	热脱附、热解、化学热洗、微生物处理等单一或组合技术,残渣建材资源化
SY/T 7466—2020	《陆上石油天然气开采水基钻井废弃物处理处置及资源化利用技术规范》 ^[49]	<5 mg/L(资源化产品浸出液)	固液分离后残渣含水率<60%,残渣建材资源化
SY/T 7467—2020	《钻井液环保性能评价技术规范》 ^[50]	—	源头减毒,包括重金属、生物毒性和生物降解性
SY/T 7682—2023	《高含水油泥脱水干化及污染控制技术规范》 ^[51]	<5%(干化前)	包括调制脱稳(热水解、超声、微波等),脱水(离心、压滤)、干化
NB/T 10843—2021	《页岩气井油基钻井液重复利用技术规范》 ^[52]	—	源头减量
HJ 607—2011	《废矿物油回收利用控制技术规范》 ^[53]	<2%(油泥沙) <5%(油基钻屑)	油再生利用,残渣填埋或焚烧处置
HJ 622—2013	《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》 ^[54]	—	限值重金属、氟、氯、硫含量

3.3 地方标准

如表 4 所列,行业标准全部为推荐性标准,其中 13 项分别来自河北(1 项)、内蒙古(1 项)、黑龙江(2 项)、河南(1 项)、四川(1 项)、陕西(4 项)、新疆(3 项)的省级地方标准,1 项是来自河北沧州的市级地方标准。DB 13/T 5353 与前述行业标准 SY/T 7467 类似,规定了水基钻井液的环保

性能要求,是从泥浆配置的源头控制含油污泥的环境毒性及危害性。DB 1309/T 287 和 DB 15/T 3144 是专门针对水基钻屑处理处置的标准。DB 23/T 1610 是适用于含油量在 0.05%~0.50%的石油污染草原土壤的治理,但未规定修复后的达标含油率。与之类似的 DB 41/T 2255 则规定了石油污染土壤修复后的验收含油率限值,分别是农

用地土壤 $\leq 0.004\%$ 、建设一类用地 $\leq 0.082\ 6\%$ 、建设二类用地 $\leq 0.45\%$ 。其中,0.004%远低于国家标准 GB 4284 中的 A 类限值(0.05%),也是所有标准中的最低限值。除此以外,其他地方标准均推荐含油污泥处理处置后的残渣通过资源化进行处置,要求含油率 $\leq 2\%$ 。例如,DB 61/T 1025 规

定用于铺路和工业原料的残渣含油量需分别不超过 1%和 2%;DB 23/T 3104 规定残渣用于井场内部建材时含油率需 $\leq 0.3\%$;DB 51/T 2850 则可视二者的结合,共分 3 类:井场铺路 $\leq 0.45\%$ 、烧结合材 $\leq 1\%$ 、水泥窑协同处置 $\leq 2\%$ 。

表 4 含油污泥处理处置相关地方标准

Table 4 Local standards for oily sludge treatment and disposal

标准号	标准名称	含油率限值	推荐技术及其他内容
DB 13/T 5353—2021	《油气井水基钻井液 环保性能要求》(河北) ^[55]	$\leq 1\%$	源头减毒,包括生物毒性、生物降解性、重金属、pH、石油类、苯并芘
DB 1309/T 287—2023	《陆上石油天然气开采水基钻井泥浆处置技术规范》(沧州) ^[56]	—	达标固体残渣可用于井场内铺路基材资源化或填埋
DB 15/T 3144—2023	《油气田水基钻井岩屑微生物集中处理技术规范》(内蒙古) ^[57]	$< 5\ \text{mg/L}$	生物处理,处理过程按照第 II 类一般工业固废进行管理
DB 23/T 1610—2015	《石油污染草原治理技术规程》(黑龙江) ^[58]	—	包括物理(翻土、灌水)、化学(石膏粉、改良剂)和生物(种草)治理措施,适用于含油率为 0.05%~0.5%的石油污染治理
DB 23/T 3104—2022	《油田含油污泥处置与利用污染控制要求》(黑龙江) ^[59]	$\leq 0.3\%$	达标固体残渣可用于井场内部建材资源化
DB 41/T 2255—2022	《石油污染土壤修复验收技术规范》(河南) ^[60]	$\leq 0.004\%$ (农用地土壤) $\leq 0.082\ 6\%$ (建设一类用地) $\leq 0.45\%$ (建设二类用地)	规定了 pH、多环芳烃、苯并芘、全盐量、有机质、重金属等指标
DB 51/T 2850—2021	《天然气开采含油污泥综合利用后剩余固相利用处置标准》(四川) ^[61]	$\leq 0.45\%$ (A 类) $\leq 1\%$ (B 类) $\leq 2\%$ (C 类)	规定了 pH、氟化物、重金属和苯并芘等指标。A 类适用于铺垫井场和井场道路,B 类适用于制烧结砖、烧结陶粒或作为井场地坪及井场道路混凝土掺配料,C 类适用于水泥窑协同处置
DB 61/T 1025—2016	《含油污泥处置利用控制限值》(陕西) ^[62]	$\leq 1\%$ (铺路) $\leq 2\%$ (工业原料)	规定了热解、热解析、pH 和含水率
DB 61/T 1361—2020	《落地油泥微生物处理技术规程》(陕西) ^[63]	—	微生物原位处理法包括地耕法、微生物—植物联合修复法、通气法,微生物原位处理法包括堆肥法、微生物反应器法、预制生物床法等
DB 61/T 1365—2020	《油气田废弃钻井液处理技术规范》(陕西) ^[64]	—	水基钻屑采用自然沉降、破胶混凝、离心压滤等方式进行固液分离,固相宜采用固化、微生物降解、高温技术等处理;油基钻屑在井场宜采用离心分离预处理,固相宜采用萃取、热解析等工艺进行处理
DB 61/T 1461—2021	《含油污泥利用与处置污染控制技术规范》(陕西) ^[65]	—	包括调质分离、化学热洗、热解、微生物处理、水泥窑协同处置、焚烧。其中,当含油率 $> 5\%$ 时不宜直接采用填埋法和焚烧法,脱水减量后含水率宜 $< 80\%$,热解前含水率宜 $< 30\%$
DB 65/T 3997—2017	《油气田钻井固体废物综合利用污染控制要求》(新疆) ^[66]	$\leq 2\%$	规定了 pH、苯并芘、重金属、含水率、COD 等指标,综合利用指井场内部的铺路、填坑、覆盖土等
DB 65/T 3998—2017	《油气田含油污泥综合利用污染控制要求》(新疆) ^[67]	$\leq 2\%$	规定了 pH、砷、含水率,综合利用指井场内部的铺路、填坑、覆盖土等

标准号	标准名称	含油率限值	推荐技术及其他内容
DB 65/T 3999—2017	《油气田含油污泥及钻井固体废物处理处置技术规范》(新疆) ^[68]	<2%	对于含油污泥,鼓励采用热裂解、超声波技术、化学热洗技术、生物技术进行处理,禁止采用焚烧、填埋方式处理含油率大于5%的含油污泥;对于钻井固废,应优先回收再利用钻井泥浆,剩余油泥采用热裂解和焚烧技术处理,残渣用于井场内部的铺路、填坑、覆盖土等

4 含油污泥处理处置技术流程

图2总结了前述政策指南和标准中推荐的处理处置技术及工艺流程。其中,处理是指去除含油污泥中的有机污染物,同时弱化或钝化重金属及盐等无机污染物;而处置则是指为含油污泥或其经处理后的固体残渣寻找最终归宿^[6]。

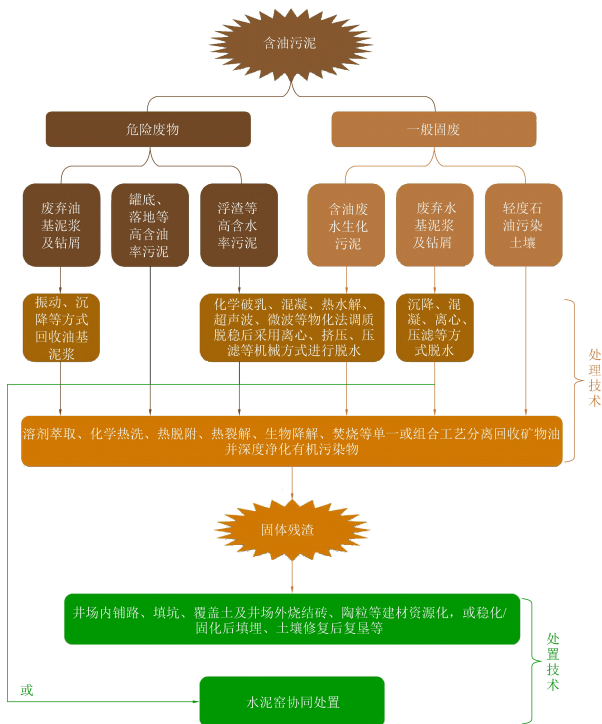


图2 含油污泥处理处置技术流程

Fig. 2 Technical process for oily sludge treatment and disposal

4.1 含油污泥处理技术

处理技术可分为两大类:一类是预处理技术,用于含油污泥的减量化,包括废弃油基泥浆及钻屑的泥浆回收,高含水率浮渣、生化污泥的脱水减量,废弃水基泥浆及钻屑的固液分离等;另一类是深度处理,通过单一技术或多个技术的组合,将预处理后或无需预处理的含油污泥的污染物去除,以达到不同的含油率限值(0.004%~2%)及其他

污染指标限值(重金属、多环芳烃、苯并芘、盐等)。其中,热化学是最常采用的处理方法,包括化学热洗、热脱附、热裂解和焚烧。2023年12月11日,工信部发布了最新一版的《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录》^[69],其中涉及含油污泥的技术装备有5项,除了“多相抽提原位化学氧化撬装成套装备”适用于有机污染土壤以外,其余4项均是基于热化学法的含油污泥处理技术装备,即有机固废闪蒸干化耦合热解气化解装备、能量球自动除焦连续化危废热解处理技术装备、工业连续化有机废弃物热裂解技术装备和PTA多源废弃物高温热化学转化资源高效利用装备。

4.2 含油污泥处置技术

处置技术也可分为两大类:一类是适用于含油污泥深度处理后的固体残渣处置,包括井场内建材资源化、井场外建材资源化、稳化/固化填埋和土壤修复后的复垦等;另一类是适用于未经处理或仅简单预处理后的含油污泥直接处置,即水泥窑协同处置。稳化/固化填埋具有普适性,但属于不被推荐的处置技术,一般在其他处置技术都不适用的情况下采用。井场内建材资源化是目前推荐最多的处置技术,其优势在于环保要求相对较低、运输距离短、综合成本低,但仅适用于内陆油气田。井场外建材资源化是较为高值化的处置技术,但受限于运输距离、资源化产品性能及市场接受度等因素,消纳量有限。土壤修复后的复垦一般适用于环境事件或落地油泥造成的石油污染土壤,其环保验收标准高。除此以外,水泥窑协同处置是近年来备受关注的处置技术。大部分的含油污泥可直接或经简单预处理后即进入水泥窑进行协同处置,其中的矿物油可替代部分燃料,节约能耗;而无机矿物相对洁净,对水泥产品的性能影响较小。然而该处置技术受地理位置限制,仅适用于含油污泥产地周边有水泥厂的情况,其经济性将随着含油污泥转运距离的增加而降低。

5 结论与建议

近年来,随着含油污泥处理处置相关规范性文件的不断更新和发布,含油污泥的分类管理越来越精细化、严格化和合理化,处理处置技术也越来越多样化、规范化和实用化,重点鼓励新技术研发和就地、就近及“点对点”资源化利用。含油污泥中绝大部分属于危险废物,少部分属于一般固废,其处理处置的基本技术路线为源头减量降毒、中间脱水减容并回收矿物油、末端残渣资源化利用。处理技术以固液分离和热化学处理为主,处置技术以井场内建材资源化和水泥窑协同处置为主。相关规范性文件尚有进一步完善空间,具体建议如下。

(1)绝大部分的规范性文件是针对内陆油气田制定的,而与海上油气田直接相关的规范性文件目前仅有1983年发布的《中华人民共和国海洋石油勘探开发环境保护管理条例》和2007年发布的《海洋石油勘探开发污染物排放限值》,至今尚未进行修改或修订。除年代久远以外,这两份文件的内容也存在冲突,前者规定“含油污泥必须回收,不得排放或弃置入海”,而后者规定“除渤海以外,其他海域可以排放含油污泥,且三级海域排放含油污泥的含油率高达8%”,这与近年来其他规范性文件普遍采用的2%含油率相差甚远。因此,建议更新并完善海上油气田的相关规范性文件。

(2)水基钻屑和含油废水生化污泥自第三版《国家危险废物名录(2016年版)》开始已被排除,但目前只有水基钻屑的处理处置有相关推荐性标准。含油废水生化污泥虽然不属于危险废物,但相比市政污泥还含有矿物油、化学添加剂等额外污染物,其环境污染性较大,因目前尚无相关针对性文件,只能借鉴市政污泥的相关文件执行。然而市政污泥的相关文件明确规定适用范围仅限于市政污泥,因此含油废水生化污泥的处理处置目前尚无直接相关的文件可依,建议新增针对性的规范性文件。

(3)自第四版《国家危险废物名录(2021年版)》开始,集中处置已不再是含油污泥的唯一消纳途径,而是鼓励“点对点”资源化利用、固体残渣建材资源化等多途径消纳,但在实际执行过程中仍然存在较大阻力。例如,一些地区依然将含油污泥处理后的固体残渣按照危险废物进行管理,而要证明其不属于危险废物,则需要进行繁琐的

流程验证,其中仅GB 5085.6中就有6大类、274种毒性物质。鉴于目前仅有9个省(自治区)、2个市发布了地方性的油田开发环境保护条例和标准,因此建议其他涉及油气资源开发的省、市地方以国家及行业的相关规范性文件为依据,结合当地实际情况,新增合规、合理的相关规范性文件,切实推进含油污泥的有效处理处置。

参考文献(References):

- [1] LI J T, LIN F W, LI K, et al. A critical review on energy recovery and non-hazardous disposal of oily sludge from petroleum industry by pyrolysis[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 406: 124706-124724.
- [2] 樊大磊, 王宗礼, 李剑, 等. 2023年国内外油气资源形势分析及展望[J]. *中国矿业*, 2024, 33(1): 30-37.
FAN Dalei, WANG Zongli, LI Jian, et al. Analysis of domestic and international oil and gas resources situation in 2023 and outlook[J]. *China Mining Magazine*, 2024, 33(1): 30-37.
- [3] 邹才能, 翟光明, 张光亚, 等. 全球常规-非常规油气形成分布、资源潜力及趋势预测[J]. *石油勘探与开发*, 2015, 42(1): 13-25.
ZOU Caineng, ZHAI Guangming, ZHANG Guangya, et al. Formation, distribution, potential and prediction of global conventional and unconventional hydrocarbon resources[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015, 42(1): 13-25.
- [4] CHEN Z, ZHENG Z J, HE C, et al. Oily sludge treatment in subcritical and supercritical water: A review[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 433: 128761-128779.
- [5] 康定宇, 林海, 牛东坡, 等. 含油污泥特性及处理技术研究进展[J]. *中国环境科学*, 2023, 43(8): 4106-4120.
KANG Dingyu, LIN Hai, NIU Dongpo, et al. Research progress of processing technology and characteristics of oily sludge[J]. *China Environmental Science*, 2023, 43(8): 4106-4120.
- [6] 陈忠, 李东元, 陈鸿珍, 等. 油基钻屑处理处置研究新进展[J]. *化工环保*, 2019, 39(5): 489-495.
CHEN Zhong, LI Dongyuan, CHEN Hongzhen, et al. Current research processes in treatment and disposal of oil-based drill cuttings[J]. *Environmental Protection of Chemical Industry*, 2019, 39(5): 489-495.
- [7] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国固体废物污染环境防治法[EB/OL]. (2020-04-30) [2024-04-10]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-04/30/content_5507561.htm.
- [8] 中华人民共和国环境保护局. 国家危险废物名录(1998年版)[EB/OL]. (1998-01-04) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172480.htm.
- [9] 中华人民共和国环境保护部. 国家危险废物名录(2008年版)[EB/OL]. (2008-06-06) [2024-04-10]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2008/content_1171362.htm.
- [10] 中华人民共和国环境保护部. 国家危险废物名录(2016年版)[EB/OL]. (2016-06-14) [2024-04-10]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2016/content_5109323.htm.

- [11] 中华人民共和国生态环境部. 国家危险废物名录(2021年版)[EB/OL]. (2020-11-25) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202011/t20201127_810202.html.
- [12] 中华人民共和国生态环境部. 国家危险废物名录(修订稿)(征求意见稿)[EB/OL]. (2024-01-03) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202401/t20240103_1060504.html.
- [13] 吴晓霞, 孙袭明, 李根强, 等. 危险废物鉴别标准体系的发展与实践研究[J]. 再生资源与循环经济, 2022, 15(2): 15-17.
WU Xiaoxia, SUN Ximing, LI Genqiang, et al. Development and practice of hazardous waste identification standard system [J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2022, 15(2): 15-17.
- [14] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 危险废物鉴别标准毒性物质含量鉴别: GB 5085. 6—2007[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [15] 贾建丽, 刘莹, 李广贺, 等. 油田区土壤石油污染特性及理化性质关系[J]. 化工学报, 2009, 60(3): 726-732.
JIA Jianli, LIU Ying, LI Guanghe, et al. Contamination characteristics and its relationship with physicochemical properties of oil polluted soils in oilfields of China [J]. CIESC Journal, 2009, 60(3): 726-732.
- [16] 车连发, 方健. 炼化污泥危险特性分析和资源化处理技术研究[J]. 天津科技, 2023, 50(9): 42-45+49.
CHE Lianfa, FANG Jian. Analysis of hazardous characteristics of refining sludge and research on resource utilization treatment technology [J]. Tianjin Science & Technology, 2023, 50(9): 42-45+49.
- [17] 方飞. 危险废物鉴别在炼油厂固体废物管理中的应用[J]. 化工安全与环境, 2024, 37(4): 41-47.
- [18] 吴娜, 聂志强, 李开环, 等. 页岩气开采钻井固体废物的污染特性[J]. 中国环境科学, 2019, 39(3): 1094-1100.
WU Na, NIE Zhiqiang, LI Kaihuan, et al. Pollution characteristics of solid waste in shale gas mining drilling [J]. China Environmental Science, 2019, 39(3): 1094-1100.
- [19] 中华人民共和国生态环境部. 固体废物分类与代码目录[EB/OL]. (2024-01-22) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202402/t20240201_1065530.html.
- [20] 中华人民共和国国务院. 海洋倾废管理条例[EB/OL]. (2017-03-21) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/xzfg/201907/t20190701_708186.shtml.
- [21] 中华人民共和国国务院. 海洋石油勘探开发环境保护管理条例[EB/OL]. (1983-12-29) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/xzfg/201811/t20181129_676298.shtml.
- [22] 山东省人民代表大会常务委员会. 山东省陆上石油勘探开发环境保护条例[EB/OL]. (1994-04-21) [2024-04-10]. http://xxgk.sdein.gov.cn/xxgkml/hjbhgfxwj/201409/t20140925_1185020.html.
- [23] 中华人民共和国生态环境部. 关于进一步加强石油天然气行业环境影响评价管理的通知[EB/OL]. (2019-12-13) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/201912/t20191220_749638.html.
- [24] 黑龙江省人民代表大会常务委员会. 黑龙江省石油天然气勘探开发环境保护条例[EB/OL]. (2005-04-08) [2024-04-10]. <https://www.hljrd.gov.cn/content.html?id=60738>.
- [25] 陕西省人民代表大会常务委员会. 陕西省煤炭石油天然气开发生态环境保护条例[EB/OL]. (2000-12-02) [2024-04-10]. <http://www.wqx.gov.cn/zfxgk/fdzdgnr/jcygk/jeyj/1533683666893520898.html>.
- [26] 甘肃省人民代表大会常务委员会. 甘肃省石油勘探开发生态环境保护条例[EB/OL]. (2006-01-08) [2024-04-10]. http://www.gsrw.gov.cn/html/2019/lfdt_1129/18575.html.
- [27] 辽宁省人民代表大会常务委员会. 辽宁省石油勘探开发环境保护条例[EB/OL]. (2011-07-29) [2024-04-10]. https://www.ln.gov.cn/web/zwgkx/zfxgk1/fdzdgnr/lzjy/gwyfg_3/1A904A23BF3A4ABCA5D08493894E737D/index.shtml.
- [28] 新疆维吾尔自治区人民代表大会常务委员会. 新疆维吾尔自治区煤炭石油天然气开发生态环境保护条例[EB/OL]. (2014-07-25) [2024-04-10]. <https://www.coalchina.org.cn/index.php?a=show&catid=39&id=62088>.
- [29] 鄂尔多斯市人民代表大会常务委员会. 鄂尔多斯市天然气开发生态环境保护条例[EB/OL]. (2022-10-29) [2024-04-10]. http://www.ordosrd.gov.cn/lfgz_119155/flfgjd/202305/t20230519_3394034.html.
- [30] 中华人民共和国生态环境部. 石油天然气开采业污染防治技术政策[EB/OL]. (2012-03-07) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/wrfzjszc/201203/t20120319_224789.shtml.
- [31] 中华人民共和国生态环境部. 危险废物环境管理指南 陆上石油天然气开采[EB/OL]. (2021-12-22) [2024-04-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202112/t20211227_965326.html.
- [32] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策(试行)[EB/OL]. (2009-02-18) [2024-04-10]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2009/content_1371358.htm.
- [33] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)[EB/OL]. (2011-03) [2024-04-10]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201103/20110330_203014.html.
- [34] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 海洋石油勘探开发污染物排放限值: GB 4914—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [35] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 页岩气环境保护第1部分: 钻井作业污染防治与处置方法: GB/T 39139.1—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [36] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 页岩气环境保护第2部分生产作业环境保护推荐作法: GB/T 39139.2—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

- [37] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 页岩气勘探开发油基岩屑处理方法及控制指标: GB/T 41518—2022[S]. 北京: 中国质检出版社, 2022.
- [38] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 危险废物填埋污染控制标准: GB 18598—2019[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2019.
- [39] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 危险废物焚烧污染控制标准: GB 18484—2020[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2020.
- [40] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 危险废物贮存污染控制标准: GB 18597—2023[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2023.
- [41] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准: GB 15618—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [42] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 农用污泥污染物控制标准: GB 4284—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [43] 国家能源局. 油田含油污泥处理设计规范: SY/T 6851—2012[S]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [44] 国家能源局. 陆上石油天然气开采钻井废物处置污染控制技术规程: SY/T 7298—2016[S]. 北京: 石油工业出版社, 2016.
- [45] 国家能源局. 陆上石油天然气开采含油污泥处理处置及污染控制技术规程: SY/T 7300—2016[S]. 北京: 石油工业出版社, 2016.
- [46] 国家能源局. 陆上石油天然气开采含油污泥资源化综合利用及污染控制技术规程: SY/T 7301—2016[S]. 北京: 石油工业出版社, 2016.
- [47] 国家能源局. 石油天然气钻采设备 油基钻井液钻屑处理系统: SY/T 7422—2018[S]. 北京: 石油工业出版社, 2018.
- [48] 国家能源局. 非常规油气开采含油污泥处理处置技术规范: SY/T 7481—2020[S]. 北京: 石油工业出版社, 2020.
- [49] 国家能源局. 陆上石油天然气开采水基钻井废弃物处理处置及资源化利用技术规范: SY/T 7466—2020[S]. 北京: 石油工业出版社, 2020.
- [50] 国家能源局. 钻井液环保性能评价技术规范: SY/T 7467—2020[S]. 北京: 石油工业出版社, 2020.
- [51] 国家能源局. 高含水油泥脱水干化及污染控制技术规程: SY/T 7682—2023[S]. 北京: 石油工业出版社, 2023.
- [52] 国家能源局. 页岩气井油基钻井液重复利用技术规范: NB/T 10843—2021[S]. 北京: 石油工业出版社, 2021.
- [53] 环境保护部. 废矿物油回收利用控制技术规范: HJ 607—2011[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [54] 环境保护部. 水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范: HJ 622—2013[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [55] 河北省市场监督管理局. 油气井水基钻井液 环保性能要求: DB 13/T 5353—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [56] 沧州市市场监督管理局. 陆上石油天然气开采水基钻井泥浆处置技术规范: DB 1309/T 287—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [57] 内蒙古自治区市场监督管理局. 油气田水基钻井岩屑微生物集中处理技术规范: DB 15/T 3144—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [58] 黑龙江省质量技术监督局. 石油污染草原治理技术规程: DB 23/T 1610—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [59] 黑龙江省市场监督管理局. 油田含油污泥处置与利用污染控制要求: DB 23/T 3104—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [60] 河南省市场监督管理局. 石油污染土壤修复验收技术规范: DB 41/T 2255—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [61] 四川省市场监督管理局. 天然气开采含油污泥综合利用后剩余固相利用处置标准: DB 51/T 2850—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [62] 陕西省质量技术监督局. 含油污泥处置利用控制限值: DB 61/T 1025—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [63] 陕西省市场监督管理局. 落地油泥微生物处理技术规程: DB 61/T 1361—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [64] 陕西省市场监督管理局. 油气田废弃钻井液处理技术规范: DB 61/T 1365—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [65] 陕西省市场监督管理局. 含油污泥利用与处置污染控制技术规程: DB 61/T 1461—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [66] 新疆维吾尔自治区质量技术监督局. 油气田钻井固体废物综合利用污染控制要求: DB 65/T 3997—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [67] 新疆维吾尔自治区质量技术监督局. 油气田含油污泥综合利用污染控制要求: DB 65/T 3998—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [68] 新疆维吾尔自治区质量技术监督局. 油气田含油污泥及钻井固体废物处理处置技术规范: DB 65/T 3999—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [69] 中华人民共和国工业和信息化部, 中华人民共和国生态环境部. 国家鼓励发展的重大环保技术装备目录(2023年版)[EB/OL]. (2023-12-11) [2024-04-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202402/content_6931386.htm